

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-173820

(43)Date of publication of application : 02.07.1999

(51)Int.Cl.

G01B 11/16

G02B 6/10

(21)Application number : 09-339889

(71)Applicant : FURUKAWA ELECTRIC CO LTD:THE

(22)Date of filing : 10.12.1997

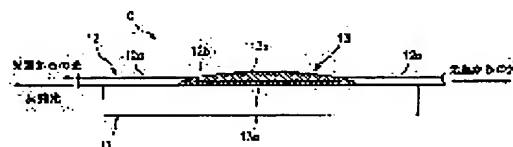
(72)Inventor : OGAWA HIROKO

## (54) STRAIN SENSOR, ITS MANUFACTURE, AND MEASURING SYSTEM USING THE STRAIN SENSOR

### (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To miniaturize a sensor, and measure the strain of an object with high precision.

SOLUTION: An optical fiber 12 is fixed onto a metal substrate 11 with two package normal temperature curing type epoxy resin 13 whose contraction at the time of curing is little. The fiber is composed of FBG in which the wavelength of a reflected light by grating is set as a specified wavelength. Thereby the set Bragg reflection wavelength is held by the specified wavelength in the unloaded state. A strain sensor including of a metal member 11 which is composed of iron steel based metal of rolled steel for general structure or nickel chromium molybdenum steel or stainless steel, the optical fiber 12 in which the wavelength of the reflected light by the grating is set as the specified wavelength, and the package normal temperature curing type epoxy resin 13 for fixing the fiber 12 on the metal member is provided, so that the sensor is miniaturized and the strain of an object can be measured with high precision.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-173820

(43)公開日 平成11年(1999)7月2日

(51)IntCl. <sup>4</sup>	識別記号	F I	
G 0 1 B 11/16		C 0 1 B 11/16	Z
G 0 2 B 6/10		C 0 2 B 6/10	C

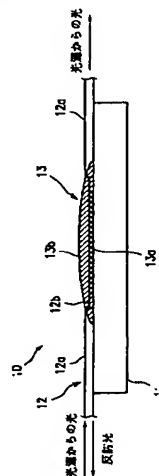
		審査請求 未請求 請求項の数14 O L (全 12 頁)
(21)出願番号	特願平9-339889	(71)出願人 000005290 古河電気工業株式会社 東京都千代田区丸の内2丁目6番1号
(22)出願日	平成9年(1997)12月10日	(72)発明者 小川 裕子 東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古 河電気工業株式会社内
		(74)代理人 弁理士 長門 侃二

(54)【発明の名称】 歪センサ、その製造方法及びその歪センサを利用した計測システム

(57)【要約】

【課題】 センサの小型化を図るとともに、物体の歪を精度良く計測する。

【解決手段】 硬化時の収縮が少ない2液混合常温硬化型エポキシ樹脂13で、金属基板11上に、グレーティングによる反射光の波長が所定波長に設定されるF B Gからなる光ファイバ12を固着することで、設定されたブラッグ反射波長を無荷重状態で所定波長に保持させる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 金属部材と、グレーティングによる反射光の波長が所定波長に設定される光ファイバと、前記金属部材上に前記光ファイバを固着する常温硬化型エポキシ樹脂とからなることを特徴とする歪センサ。

【請求項2】 前記金属部材は、鉄鋼系金属からなることを特徴とする請求項1に記載の歪センサ。

【請求項3】 前記鉄鋼系金属は、一般構造用圧延鋼材、ニッケルクロムモリブデン鋼材又はステンレス鋼材からなることを特徴とする請求項2に記載の歪センサ。

【請求項4】 前記常温硬化型エポキシ樹脂は、2液混合常温硬化型エポキシ樹脂からなることを特徴とする請求項1に記載の歪センサ。

【請求項5】 前記2液混合常温硬化型エポキシ樹脂は、ビスフェノールA型エポキシ樹脂と、変性ポリチオールを含むことを特徴とする請求項1に記載の歪センサ。

【請求項6】 前記2液混合常温硬化型エポキシ樹脂は、ペースト状の粘度からなることを特徴とする請求項5に記載の歪センサ。

【請求項7】 前記2液混合常温硬化型エポキシ樹脂は、ビスフェノールA型エポキシ樹脂と、ポリサルファイド及びポリアミドアミンの混合剤を含むことを特徴とする請求項1に記載の歪センサ。

【請求項8】 前記2液混合常温硬化型エポキシ樹脂は、12000乃至15000cpsの粘度からなることを特徴とする請求項7に記載の歪センサ。

【請求項9】 金属部材上に、グレーティングによる反射光の波長が所定波長に設定される光ファイバの心線を常温硬化型エポキシ樹脂で固着させることを特徴とする歪センサの製造方法。

【請求項10】 金属部材上に常温硬化型エポキシ樹脂による下地層を形成させ、該下地層上に、グレーティングによる反射光の波長が所定波長に設定される光ファイバの心線の一部を固着させ、さらに前記金属部材上に前記下地層、前記光ファイバを覆う常温硬化型エポキシ樹脂による樹脂層を形成させることを特徴とする歪センサの製造方法。

【請求項11】 前記光ファイバは、コーティング部の一部が除去されており、該除去部分の前記心線の一部を下地層上に固着させることを特徴とする請求項9又は10に記載の歪センサの製造方法。

【請求項12】 前記除去部分の心線は、該下地層より長手方向に長く、かつ該下地層と前記コーティング部の端面間には、間隔が設けられることを特徴とする請求項11に記載の歪センサの製造方法。

【請求項13】 荷重により変位する物体の歪を計測する計測システムにおいて、前記物体の各部に設置されるとともに、グレーティング

による反射光の波長がそれぞれ異なる波長に設定され、前記物体の歪に応じて前記反射光の波長が変化する複数の歪センサと、

光ファイバを介して前記各歪センサに光を出力する光源と、

前記各歪センサからの反射光の波長を計測し、該反射光の波長を計測し、該反射光の波長に基づき前記物体の歪を計測する計測手段とを備えたことを特徴とする歪センサを利用した計測システム。

【請求項14】 前記光源は、前記各歪センサに前記反射光の波長を含む波長帯のブロードな光を出力することを特徴とする請求項13に記載の歪センサを利用した計測システム。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光ファイバを用いて歪を検出する歪センサ、その製造方法及びその歪センサを利用した計測システムに関する。

【0002】

【関連する背景技術】従来、この種の歪センサには、例えば図21に示すように、固定基板1と可動基板2の2つの基板に、光ファイバの一種であるFBG (Fiber Bragg Grating) 3をニカワ4等で貼り付け、可動基板2の可動に伴う変位をFBG3の波長シフト量に基づいて計測していた。FBG3とは、光ファイバのコアの中に、入力する光の進行方向に沿うように回折格子5を作成したものである。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】ところが、上記歪センサでは、固定基板と可動基板とを有するので、センサの構成が大きくなり、小型化が図れないという問題点があった。また、1つの基板の上に上記FBGを貼り付けたものもあるが、貼り付けに使用する接着剤によっては、硬化時に収縮が大きくなり、FBGに設定された反射光の波長（以下、「ブラッグ反射波長」という）が変化してしまい、精度良く歪を計測することができないという問題点があった。

【0004】そこで、本発明は、上記問題点に鑑みながら、センサの小型化が図れるとともに、物体の歪を精度良く計測できる歪センサ、その製造方法及びその歪センサを利用した計測システムを提供することを目的とする。

【0005】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため、本発明では、例えば鉄鋼系金属からなる金属部材と、グレーティングによる反射光の波長が所定波長に設定されるFBGを使用した光ファイバと、前記金属部材上に前記光ファイバを固着する、例えば2液混合常温硬化型エポキシ樹脂とからなる歪センサが提供される。

【0006】すなわち、硬化時の収縮が少ない2液混合

常温硬化型エポキシ樹脂で金属部材上に光ファイバを固着することで、設定されたブラッグ反射波長を無荷重状態で所定波長に保持させる。また、前記鉄鋼系金属は、一般構造用圧延鋼材、ニッケルクロムモリブデン鋼材又はステンレス鋼材からなるのが好ましい。

【0007】また、2液混合常温硬化型エポキシ樹脂は、例えばビスフェノールA型エポキシ樹脂と、変性ポリチオールとを含み、ペースト状の粘度からなるもの、又は例えばビスフェノールA型エポキシ樹脂と、ポリサルファイド及びポリアミドアミンの混合剤とを含み、12000乃至15000cpsの粘度からなるものが好ましい。

【0008】また、歪センサの製造方法としては、金属部材上に常温硬化型エポキシ樹脂による下地層を形成させ、該下地層上に、グレーティングによる反射光の波長が所定波長に設定され、かつコーティング部の一部が除去されて露出した光ファイバの心線の一部を固着させ、さらに前記金属部材上に前記下地層、前記光ファイバを覆う常温硬化型エポキシ樹脂による樹脂層を形成させることが好ましい。

【0009】また、前記除去部分の心線は、下地層より長手方向に長く、かつ該下地層と前記コーティング部の端面間には、間隔が設けられることが好ましい。さらに、上記歪センサを利用した計測システムとしては、荷重により変位する物体の各部に設置されるとともに、グレーティングによる反射光の波長がそれぞれ異なる波長に設定され、前記物体の歪に応じて前記反射光の波長が変化する複数の歪センサと、光ファイバを介して前記各歪センサに前記反射光の波長を含む波長帯のブロードな光を出力する光源と、前記各歪センサからの反射光の波長を計測し、該反射光の波長を計測し、該反射光の波長に基づき前記物体の歪を計測する計測手段とを備えることが好ましい。

【0010】

【発明の実施の形態】本発明に係る歪センサ、その製造方法及びその歪センサを利用した計測システムを図1乃至図20の図面に基いて説明する。図1は、本発明に係る歪センサの構成の一例を示す構成図である。図において、本実施例の歪センサ10は、金属基板11上に、無荷重状態でのブラッグ反射波長が所定波長に設定されるFBGからなる光ファイバ12を、例えば常温硬化型エポキシ樹脂からなる接着剤13で固着させて構成されている。

【0011】上記歪センサ10では、光ファイバ12の一端に光源（図示せず）を接続させ、他端を開放させる。そして、上記光源から、設定されたブラッグ反射波長を含む波長帯の光を光ファイバ12に出力し、金属基板11に加わった歪みに応じたFBGからの反射光のブラッグ反射波長の変化を光スペクトラムアナライザ等の測定器（図示せず）で測定し、上記歪みを計測してい

る。

【0012】なお、本実施例では、被覆された光ファイバ12のコーティング部12aを除去し、心線（クラッドとコア）12bを直接接着剤13で接着させているが、本発明はこれに限らず、例えば被覆されたコーティング部を除去することなく、FBGを接着剤で金属基板に接着することも可能である。この場合には、コーティング部が緩衝材として機能し、金属基板に生じた歪が直接FBGに伝わらなくなり、その結果、計測される歪量が大きくなったり、又は小さくなる可能性があるため、上記歪量に基づいて計測値を所定の換算式等で補正する必要がある。

【0013】また、歪センサにおいて、外力による荷重を効率良く光ファイバに伝える金属基板や接着剤を選定することは、歪の検出精度に大きな影響を与えることとなり、歪センサを製造する上での重要な要素となる。そこで、本発明者は、以下に示すように、上記要素の選定のための実験を行った。上記実験では、2液混合常温硬化型エポキシ樹脂、紫外線硬化型エポキシ樹脂、1液加熱硬化型エポキシ樹脂、2液混合加熱硬化型アクリル樹脂、シアノアクリレートの各接着剤を被験対象とした。

【0014】また、実験に先立ち、本発明者は、2液混合常温硬化型エポキシ樹脂が接着剤として有効と考え、A～Cの異なる3つの接着剤を被験対象とした。ここで、2液混合常温硬化型エポキシ樹脂A、Bは、主剤がビスフェノールA型エポキシ樹脂で、硬化剤が変性ポリチオールで、かつ粘度がペースト状の接着剤であり、2液混合常温硬化型エポキシ樹脂Cは、主剤がビスフェノールA型エポキシ樹脂で、硬化剤がポリサルファイドとポリアミドアミンの混合物で、かつ粘度が12000～15000cpsの接着剤である。

【0015】なお、本発明者が、2液混合常温硬化型エポキシ樹脂が本発明の接着剤として有効と考えた理由は、加熱硬化型では、光ファイバを保護しているコーティング部に悪影響（例えば黄色に変色）を与える可能性があり、1液型では、加熱硬化の場合がほとんどである。すなわち、光ファイバのコーティングによく使用されているのはアクリル樹脂で、そのガラス転移温度は、130～160℃といわれ、加熱硬化型の接着剤では、160℃ほどで硬化するためである。また、上記FBGは、曲がりが生じるとブラッグ反射波長が変化してしまうので、接着剤の硬化時に収縮が生じるとFBGが曲がってしまい、ブラッグ反射波長が変化する場合がある。また、硬化時の温度変化が小さい方が残留応力が少ないと考えられる。

【0016】これに対して、2液混合常温硬化型エポキシ樹脂は、常温硬化型であること、硬化時の収縮が少ないことが挙げられる。例えば、2液混合常温硬化型エポキシ樹脂Aの収縮に関する実験データを表1に示すと、

【0017】

【表1】

	サンプル1	サンプル2
経過時間 (温度)	ブラッグ反射波長	ブラッグ反射波長
接着前 (25℃)	1552.88nm	1556.50nm
接着後30分 (25℃)	1552.84nm	1556.50nm
接着後66時間 (21℃)	1552.81nm	1556.47nm

となった。ここで、温度とは、実験室の室温である。

【0018】なお、温度変化に対する波長シフト量はおよそ0.02nm/℃であるから、上記実験のように4℃下がれば、本来は0.08nm波長が短くなるはずであるが、実験では0.03nmなので、上記温度は目安である。逆に波長シフト量が0.03～0.07nmの変化は、温度にして1.5～3.5℃の変化であるので、実験室の室温としてはばらつきの許範囲内であり、2液混合常温硬化型エポキシ樹脂Aは、ほとんど収縮してないといえる。

【0019】まず、金属基板を選定するためのFBGのブラッグ反射波長の変化量の実験を示す。図2は、上記実験用のサンプルの概略構成を示す概略図である。図において、金属棒15は、材質として使用する可能性の高い一般構造用圧延鋼材(SS400)とニッケルクロムモリブデン鋼鋼材(SNCM439)の直径11mm丸棒を使用し、その長手方向の中央位置に歪ゲージ16とFBG17を接着した。このFBG17の接着には、上記2液混合常温硬化型エポキシ樹脂Aを使用し、接着長を55mmとした。また、FBG17のブラッグ反射波長は、室温、歪み無付加状態で1555nm前後のものを使用した。

【0020】実験装置は、図3に示す模式図のように、光源20からの光は、アイソレータ21、3dB光カプラ22を介してFBG17に供給されている。3dB光カプラ22とFBG17間は、リードファイバとして長さ20kmのシングルモードファイバ(SFM)を接続した。FBG17に加わる荷重は、金属棒15の両端を引張試験機23で引張ることによって与えている。この引張り荷重に対するFBG17からの反射スペクトル変化は、光スペクトルアナライザ24で測定した。

【0021】この測定結果である歪みに対するブラッグ反射波長の関係を図4、図5に示す。これら図から明らかなように、一般構造用圧延鋼材とニッケルクロムモリブデン鋼鋼材では、歪みに対するブラッグ反射波長の変化は、再現性が良いことがわかる。但し、一般構造用圧延鋼材において測定したデータで、歪み下降時にばらつきが出たのは、荷重に対する歪量がばらついたことに起

因する。また、ニッケルクロムモリブデン鋼鋼材の第1回目歪み下降時に塑性変形的伸びが若干生じたため、第1回目歪み上昇のデータは除いて評価した。

【0022】また、上記結果から、これら鋼材の他に、ステンレス鋼鋼材やその他の鉄鋼系金属も本発明の金属基板に使用することができると考えられる。次に、接着剤の選定について説明する。歪センサは、屋外で 사용되는ことを考慮し、-40～50℃の温度範囲で使用できそうな上記7種類の接着剤の中から実際にヒートサイクル実験を行って、結果の良好なものを選定する。

【0023】サンプルは、図6に示すように、金属基板11に光ファイバ12を各接着剤13で接着させ、図7に示すヒートサイクル(以下、「HC」という)の条件で実験を行った。なお、図6以下の図面において、図1と同様の構成部分については、説明の都合上、同一符号を付記した。被実験サンプルは、各接着剤毎に上記HCを行う前に引張試験を行うもの、上記HCを80回、300回、600回ずつ行った後にそれぞれ引張試験を行うものの4つのグループに分けた。また、この引張試験を行う引張試験機には、図3に示したものをを用いて、被実験サンプルが破断するまで荷重を加えた。

【0024】図8は、上記引張試験の実験結果である。図において、シアノアクリレートは、HCを80回行った後に、70%以上の被実験サンプルでひび割れや剥がれといった異常が発生したので、本発明の接着剤には適当ではないと判断した。また、紫外線硬化型エポキシ樹脂と1液加熱硬化型エポキシ樹脂は、全体的に破断荷重が低いので、本発明の接着剤には適当ではないと判断した。

【0025】次に、本発明者は、2液混合常温硬化型エポキシ樹脂A～Cと2液混合加熱硬化型アクリル樹脂に対して別の被実験サンプルを用意して、図9に示す低温HCの条件で実験を行った。被実験サンプルは、各接着剤毎に上記低温HCを3000回行った後に、図3の引張試験機で破断するまでそれぞれ引張試験を行った。2液混合加熱硬化型アクリル樹脂は、上記低温HCを行った段階で、被実験サンプルにひび割れや剥がれといった異常が発生したので、本発明の接着剤には適当ではない

と判断した。

【0026】また、2液混合常温硬化型エポキシ樹脂は、上記低温HCを行った後の引張試験でも、図8と同様の試験結果を得ることができた。そこで、本発明者は、2液混合常温硬化型エポキシ樹脂が本発明の接着剤に適していると判断した。このように、本実施例の歪センサは、硬化時の収縮が少ない2液混合常温硬化型エポキシ樹脂で1つの鉄鋼系金属基板に光ファイバを固着できるので、小型化が図れるとともに、設定されたブラッグ反射波長を無荷重状態で所定波長に保持させて基準が定まり、荷重に応じたブラッグ反射波長の変化により歪を精度良く計測できる。

【0027】このことから、本発明では、金属基板は、一般構造用圧延鋼材、ニッケルクロムモリブデン鋼鋼材又はステンレス鋼鋼材等からなる鉄鋼系金属が好ましい。また、2液混合常温硬化型エポキシ樹脂は、例えばビスフェノールA型エポキシ樹脂と、変性ポリチオールを含み、ペースト状の粘度からなるもの、又は例えばビスフェノールA型エポキシ樹脂と、ポリサルファイド及びポリアミドアミンの混合剤を含み、12000乃至15000cpsの粘度等からなるものが好ましい。

【0028】そして、本発明に係る歪センサは、上記鉄鋼系金属からなる金属基板と、FBGと、上記2液混合常温硬化型エポキシ樹脂との組み合わせで構成させ、上記金属基板上にFBGを、上記2液混合常温硬化型エポキシ樹脂で固着させるのが適当であるとの結論を得た。また、一般に光ファイバにファイバグレーティングを形成する際には、心線（クワッドとコア）に被覆されているコーティング部を除去してグレーティングを作製するので、この工程の際に歪センサを製造するのが容易と考えられる。

【0029】次に、本発明に係る歪センサの製造方法について、図10～図13の工程図を用いて説明する。まず、本発明では、図10に示すように、一般構造用圧延鋼材、ニッケルクロムモリブデン鋼鋼材又はステンレス鋼鋼材等の鉄鋼系金属からなる金属基板11上に2液混合常温硬化型エポキシ樹脂13による下地層13aを形成する。この下地層13aは、長方形で、層の厚さが例えば光ファイバ12のコーティング部12aの厚さと同じ厚さである60～70 $\mu$ mに設定する。これにより、光ファイバ12は、反りのない真っ直ぐな状態になり、一定の強度が保たれることとなる。

【0030】光ファイバ12は、図11に示すように、FBGのコーティングが除去されており、除去部分の長さは、下地層13aの長手方向の長さより長く設定する。次に、下地層13aが硬化後、図12に示すように、光ファイバ12を真っ直ぐの状態のままで、FBGの心線13bを下地層13a上に固定する。この時、下地層13aとコーティング部12aの端面間には、2～3mmの間隔dを設けるように固定する。この間隔dを

設ける理由は、下地層13aとコーティング部12aが重なり合うと、段差が生じ光ファイバ12が反ったりして直線性が失われてしまい、その状態で図中左右方向に荷重が加わると、光ファイバ12の強度が弱くなって断線したり、反射波長に影響を与えるためである。

【0031】そして、図13に示すように、金属基板11上に、下地層13a、光ファイバ12のコーティング部12aの一部及び心線12bを覆う2液混合常温硬化型エポキシ樹脂13による樹脂層13bを形成させて、光ファイバ12を固着し、図1に示す歪センサ10を製造することができる。すなわち、本実施例の製造方法では、硬化時の収縮が少ない2液混合常温硬化型エポキシ樹脂で金属部材上に光ファイバを固着するので、設定されたブラッグ反射波長を無荷重状態で所定波長に保持させることができるとともに、FBG（光ファイバ）は、直線性を維持した状態で硬化されるので、一定の強度が保たれる。

【0032】次に、上記歪センサを利用した計測システムについて図14～図18の図面に基づいて説明する。図14は、土砂崩れ防護用のフェンスに本発明に係る歪センサを利用した変形計測システムの構成図である。図において、フェンス30は、例えば棒31と網32部分から構成されている。各歪センサ10は、フェンス30の棒31部分に固着されて、光ファイバケーブル18を介してシリアルに配設されており、土砂崩れなどによる岩石や土砂の固まりがフェンス30に引っかかり、フェンス30の棒31に変形が生じると、その歪みを検出する。

【0033】観測所33は、光ファイバケーブル18に波長帯のブロードな光を出力する光源34と、光ファイバケーブル18からの光を受光して波長を測定する測定器35とから構成されている。光源34は、例えば図15の入力スペクトルの波形図に示すように、波長帯が $\lambda A \sim \lambda B$  (nm) のブロードな光を光ファイバケーブル18に出力している。光源34からの光は、光ファイバケーブル18から歪センサを透過して次の歪センサに入力している。なお、本実施例におけるシステムでの接続形態の終端部は、全ての歪センサ10を透過した光が反射しないように開放状態に設定されている。

【0034】また、測定器35は、例えば波長計や光スペクトラムアナライザ等からなり、各歪センサ10から棒31の変形に応じたブラッグ反射波長変化を、図16の反射スペクトルから測定し、棒31の歪みを計測している。この測定器35に入力されるブラッグ反射波長は、 $\lambda A \sim \lambda B$  (nm) の波長帯のブロードな光出力に多重された反射スペクトルとして現される。

【0035】本実施例では、FBGの回折格子で回折される反射光の特定周波数（中心波長）を各歪センサ10毎に予め異なる波長、例えば図16に示すように、歪センサ10が4つの場合を述べると、各センサにおける中

心波長を $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$ 、 $\lambda_4$  (nm) にそれぞれ設定し、ブラッグ反射波長が歪によってシフトすることを利用している。なお、この歪みとブラッグ反射波長の関係は、図4、図5に示したように、歪みの増減に対するブラッグ反射波長の変化が、ほぼ直線状に変化する比例関係にある。

【0036】各歪センサ10では、枠31の変形を歪として検知し、その歪に基づいて変化した波長の反射光を、観測所33に送出しており、光源34からの光は、歪センサを介して次の歪センサに順次入力されている。また、各歪センサ10からの反射光は、光源34からの光の進行方向とは逆の進行方向で、自己より観測所33側に接続された歪センサをそれぞれ介して測定器35に入力されている。

【0037】ところで、上記計測システムでは、上記歪に基づいて変化するブラッグ反射波長の範囲が複数の歪センサにおいて重なり合うと、測定器35では、いずれのセンサからの波長なのか判断ができなくなる。このため、本発明では、上記変化するブラッグ反射波長の範囲を、各歪センサ毎に異なる波長の範囲に予め設定しておく必要がある。以下に、その設定の一例を述べる。

【0038】まず、例えば枠の変形に対するフルスケールの歪量を $S$  ( $\mu\epsilon$ ) とすると、FBGの歪に対する波長のシフト量 $\lambda S$  (nm/ $\mu\epsilon$ ) から、フルスケールでの波長シフト量 $\lambda F$ を求めると、

$$\lambda F = \lambda S \times S \text{ (nm)}$$

となる。ここで、温度に依存した波長シフト量 $\lambda T$ と波長の半値幅 $\lambda H$ を考慮に入れると、中心波長間隔 $\Delta\lambda$ は、

$$\Delta\lambda = \lambda F + \lambda T + \lambda H \text{ (nm)}$$

となる。ここで、シリアルに接続された歪センサのうちの歪センサ20における中心波長を上記 $\lambda_1$  (nm) とすると、歪センサ21における中心波長 $\lambda_2$  (nm) は、

$$\lambda_2 = \lambda_1 + \Delta\lambda \text{ (nm)}$$

となり、同様にしてN番目の歪センサにおける中心波長 $\lambda_N$ は、

$$\lambda_N = \lambda_1 + \Delta\lambda \times (N-1) \text{ (nm)}$$

N: 任意の整数

となる。なお、実際の上記計測システムに用いる場合には、歪みの上限値 (例えば断線が生じる時の値) を予め設定しておき、上記上限値に応じてFBGによるブラッグ反射波長の変化範囲を設定する方法が考えられる。

【0039】なお、本実施例の荷重監視システムにおいて設置される歪センサの個数Nは、光源17の使用可能な波長の範囲によって制限される。また、ブラッグ反射波長の変化範囲の設定は、本実施例に限らず、物理的に任意に設定することも可能である。このような計測システムにおいて、観測所33の光源34から出力されたブロードな光は、光ファイバケーブル18を介して枠31

の各部分に設置された歪センサ10に順次入力しており、各歪センサ10からは、枠31の変形に応じて変化する波長の反射光を、同じ光ファイバケーブル18を介して測定器35に出力する。

【0040】測定器35では、入力する反射光の反射スペクトラムを測定し、その光出力レベルに基づいて各歪センサ10からのブラッグ反射波長の変化を測定し、枠31の歪みを測定する。例えば、フェンス30の枠31に土砂崩れなどで変形が生じ、図17、図18に示すように、第3番目の歪センサ10からのブラッグ反射波長が $\lambda_3$ から $\lambda_3 + \Delta\lambda_a$ 、 $\lambda_3 + \Delta\lambda_b$ と順に変化する場合、測定器35は、上記変化するブラッグ反射波長に応じた枠31の歪みの履歴を検出して観測者に通知することができる。これにより、観測者は、上記通知された歪みからフェンス30の変形異常を検知し、警報の発信などの処置を行うことが可能となる。

【0041】従って、本実施例では、光ファイバケーブルを介してフェンスの枠の各ポイントに設置したFBG使用の歪センサをシリアルに接続して、フェンスの歪みに応じたブラッグ反射波長を信号伝送するので、歪センサはFBG使用により電氣的に絶縁され、サージや落雷等の状況下においても、その影響を受けることなく正確にフェンスの歪みを検知して通知することができる。

【0042】また、本実施例では、1本の光ファイバケーブルに複数の歪センサをシリアルに接続することができるので、複数の歪センサによる同時多点計測を実現でき、かつリード線等の部品点数を削減して製作コストを低減できる。また、本実施例では、光ファイバケーブルで歪センサからのブラッグ反射波長を信号伝送するので、歪センサ等の計測系に電源が不要になるとともに、遠隔の歪み監視が実現できる。

【0043】また、本実施例では、歪センサの中心波長とその波長の変化範囲を、歪量と反射光の波長シフト量の関係に基づいて予め設定するので、高分解能で、かつ広ダイナミックレンジで変化する歪みを計測することができる。また、本発明に係る歪センサは、図1に示すように金属基板上にFBGを固着した後に、上記金属基板をフェンスの枠に固着させて用いても良いし、又は上記枠の各部分に直接FBGを2液混合常温硬化型エポキシ樹脂で接着して作製しても良い。

【0044】また、図19は、土砂崩れ防護用のフェンスに用いた場合の他の実施例で、歪センサ10は、フェンス30の網32部分に直接FBGを2液混合常温硬化型エポキシ樹脂で接着して作製され、光ファイバケーブル18を介してシリアルに接続されており、網32に加わる変形を歪として検出している。このシステムでは、網32部分に直接FBGを接着するので、枠に取り付けた図18のものと比べて、フェンスの変形をより迅速に検出することができる。さらに、本実施例では、図19に示すように、光ファイバケーブル18を網32に沿わ

して取り付けしており、例えば網が切れてそれとともに光ファイバケーブル18が断線した場合には、断線部分以降に接続されてる歪センサから観測所には所定のブラッグ反射波長が出力されないこととなる。従って、観測所は、この結果からもフェンス30の変形異常を検知することができる。

【0045】また、本発明に係る歪センサは、上記フェンスの枠と網にそれぞれ接合し、かつ光ファイバケーブルを介してシリアルに接続させて、上記枠と網の変形を観測するように用いることも可能である。さらに、本発明に係る歪センサを利用した変形計測システムは、上記土砂崩れ防護用のフェンスの場合に限らず、他のフェンス例えば図20に示す進入防止用のフェンスの場合にも用いることが可能である。図において、歪センサ10は、フェンス30上部の柵36部分に直接FBGを2液混合常温硬化型エポキシ樹脂で接合して作製され、光ファイバケーブル18を介してシリアルに接続されており、柵36に加わる変形を歪として検出している。この場合も1本の光ファイバケーブルに各ポイントで歪センサを接続させ、システムとして遠隔の同時多点観測ができる。

【0046】また、この進入防止用のフェンスの場合も、本発明に係る歪センサを、上記フェンスの枠と網と柵にそれぞれ接合し、かつ光ファイバケーブルを介してシリアルに接続させて、上記枠と網と柵の変形を観測するように用いることも可能である。なお、本実施例では、フェンスの歪を計測するシステムについて説明したが、本発明はこれに限らず、例えばロードセルによる荷重監視や水位に変化、地形の変化、フェンス以外の枠体の変形、鉄塔や橋や建物等の建造物の変形等を計測するシステムにも応用が可能である。これらの場合には、本発明に係る歪センサでこれらの変化や変形を歪量として計測した後、上記歪量をそれぞれに該当する物理量に変換することによって、被計測対象物の変化や変形を容易に検知することができる。

【0047】また、上記FBGを用いた歪センサでは、温度の影響によって得られたデータに誤差が生じる場合がある。そこで、歪センサの近くで歪の影響が少ない所に、温度補償用のFBGを片側を接合して固定し、その反対方向を開放させた状態にして設置し、上記FBGから得られたデータ（反射光の波長）に基づき、上記歪センサから得られたデータの温度の影響を補正することも可能である。

【0048】

【発明の効果】以上説明したように、本発明では、一般構造用圧延鋼材、ニッケルクロムモリブデン鋼鋼材又はステンレス鋼鋼材等の鉄鋼系金属からなる金属材料と、グレーティングによる反射光の波長が所定波長に設定される光ファイバと、前記金属材料上に前記光ファイバを固着する2液混合常温硬化型エポキシ樹脂とからなる歪

センサが提供されるので、センサの小型化が図れるとともに、物体の歪を精度良く計測できる。

【0049】歪センサの製造方法としては、金属材料上に2液混合常温硬化型エポキシ樹脂による下地層を形成させ、該下地層上に、グレーティングによる反射光の波長が所定波長に設定される光ファイバの心線の一部を固着させ、さらに前記金属材料上に前記下地層、前記光ファイバを覆う2液混合常温硬化型エポキシ樹脂による樹脂層を形成させるので、設定されたブラッグ反射波長を無荷重状態で所定波長に保持させることができる。

【0050】前記除去部分の心線は、該下地層より長手方向に長く、かつ該下地層と前記コーティング部の端面間には、間隔が設けられるので、光ファイバは直線性を維持した状態で硬化されて、一定の強度が保たれる。歪センサを利用した計測システムとしては、荷重により変位する物体の各部に設置されるとともに、グレーティングによる反射光の波長がそれぞれ異なる波長に設定され、前記物体の歪に応じて前記反射光の波長が変化する複数の歪センサと、光ファイバを介して前記各歪センサに前記反射光の波長を含む波長帯のブロードな光を出力する光源と、前記各歪センサからの反射光の波長を計測し、該反射光の波長を計測し、該反射光の波長に基づき前記物体の歪を計測する計測手段とを備えたので、サージや落雷等の状況下においても、その影響を受けることなく正確に物体の歪みを検知して通知することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る歪センサの構成の一例を示す構成図である。

【図2】歪ゲージとFBGを接合させた実験用のサンプルの概略構成を示す概略図である。

【図3】実験装置である引張試験機の模式図である。

【図4】図3の引張試験機での測定結果である歪みに対するブラック反射波長の関係を示す関係図である。

【図5】同じく歪みに対するブラック反射波長の関係を示す関係図である。

【図6】接着剤の選定のための実験に用いるサンプルの概略構成を示す概略図である。

【図7】接着剤の選定のための実験に用いるヒートサイクルの条件を示す図である。

【図8】同じくその実験結果を示す破断荷重の図である。

【図9】同じく接着剤の選定のための実験に用いる低温ヒートサイクルの条件を示す図である。

【図10】本発明に係る歪センサの製造工程を説明するための工程図である。

【図11】同じく製造工程を説明するための工程図である。

【図12】同じく製造工程を説明するための工程図である。



【図13】同じく製造工程を説明するための工程図である。

【図14】土砂崩れ防護用のフェンスに本発明に係る歪センサを利用した変形計測システムの構成の一例を示す構成図である。

【図15】図14に示した光源から出力される光の入力スペクトルを示す波形図である。

【図16】同じく測定器に取り込まれる光の反射スペクトルを示す波形図である。

【図17】図14に示した歪センサからのブラッグ反射波長が変化した場合の光の反射スペクトルを示す波形図である。

【図18】同じくブラッグ反射波長が変化した場合の光の反射スペクトルを示す波形図である。

【図19】土砂崩れ防護用のフェンスに本発明に係る歪センサを利用した変形計測システムの構成の他の例を示す構成図である。

【図20】進入防止用のフェンスに本発明に係る歪センサを利用した変形計測システムの構成の一例を示す構成

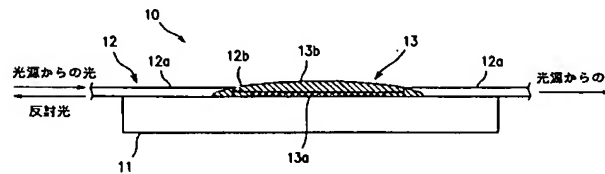
図である。

【図21】従来の歪センサの構成を示す構成図である。

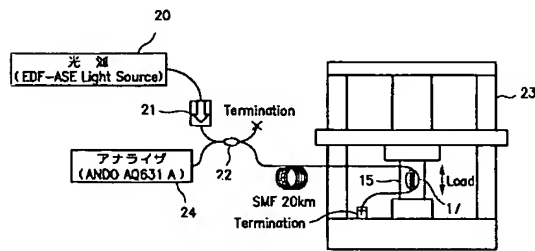
【符号の説明】

- 10 歪センサ
- 11 金属基板
- 12 光ファイバ
- 12a コーティング部
- 12b 心線
- 13 接着剤(2液混合常温硬化型エポキシ樹脂)
- 13a 下地層
- 13b 樹脂層
- 18 光ファイバケーブル
- 30 フェンス
- 31 枠
- 32 網
- 33 観測所
- 34 光源
- 35 測定器
- 36 相

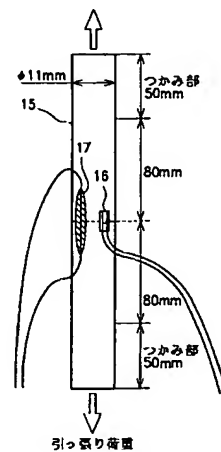
【図1】



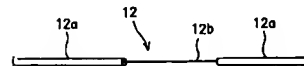
【図3】



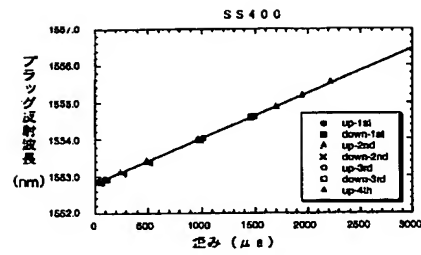
【図2】



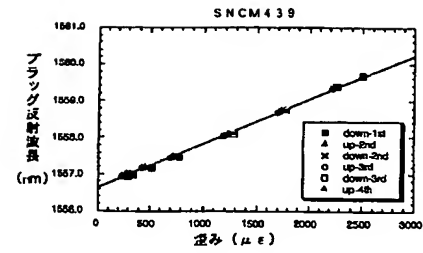
【図11】



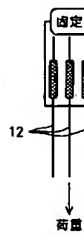
【図4】



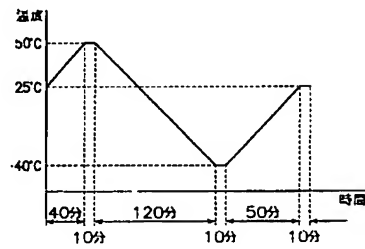
【図5】



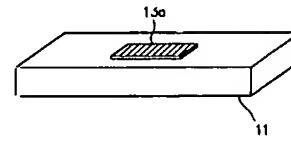
【図6】



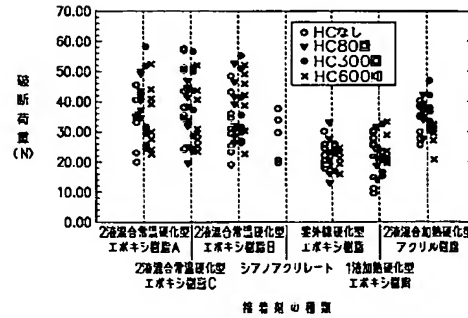
【図7】



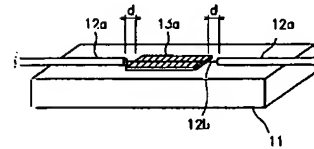
【図10】



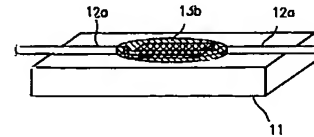
【図8】



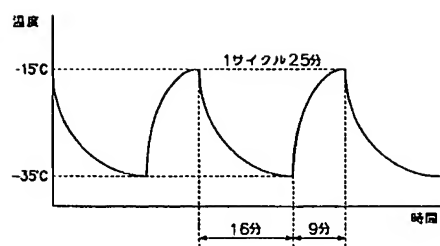
【図12】



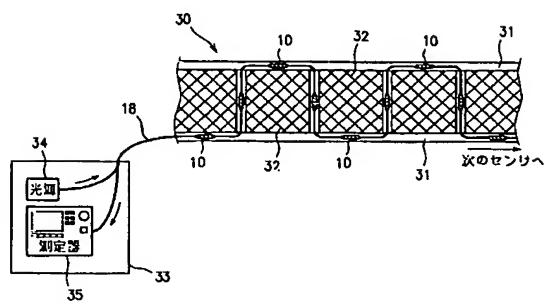
【図13】



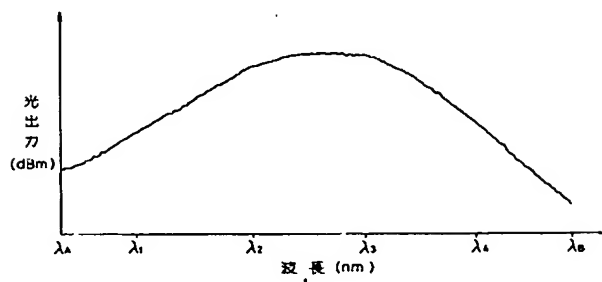
【図9】



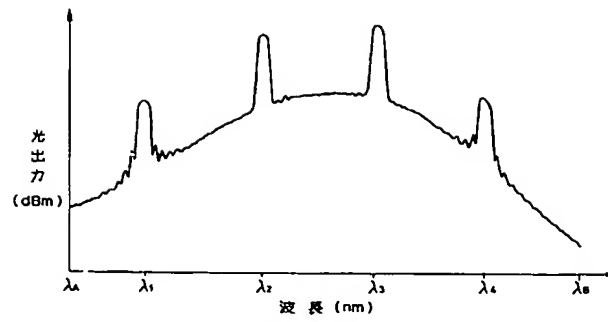
【図14】



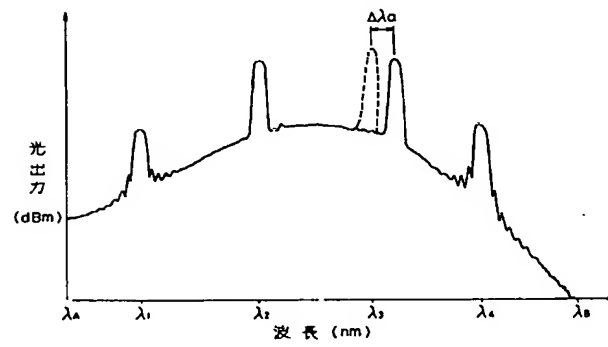
【図15】



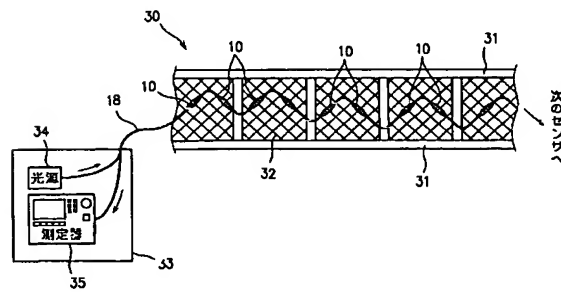
【図16】



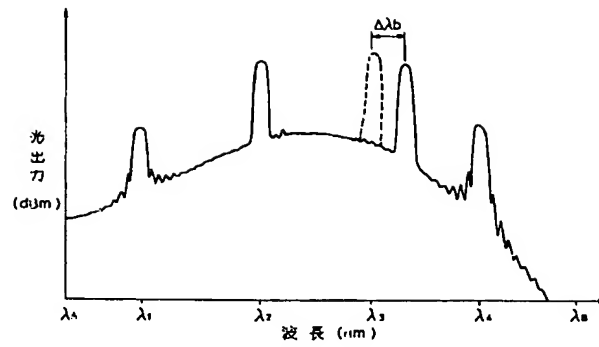
【図17】



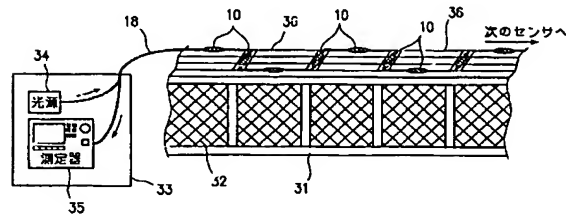
【図19】



【図18】



【図20】



【図21】

